第28卷 第1期 工 程 数 学 学 报 Vol. 28 No. 1
2011年02月 CHINESE JOURNAL OF ENGINEERING MATHEMATICS Feb. 2011

文章编号:1005-3085(2011)01-0043-07

具有多滞后时变区间Lurie间接控制系统的指数稳定性*

樊 冲， 包俊东

(内蒙古师范大学数学科学学院，呼和浩特 010022)

摘 要: 本文讨论了具有多滞后时变区间Lurie间接控制系统的指数稳定性问题．通过引入多时滞时变区间控制系统的指数稳定性的概念，采用矩阵测度和时滞微分不等式，对具有多个滞后的时变区间Lurie间接控制系统的指数稳定性做了研究，并给出了此系统指数稳定性的若干充分条件．最后给出数值例子说明了本文结论的有效性．

关键词: Lurie间接控制系统；矩阵测度；时滞微分不等式；指数稳定

分类号: AMS(2000) 34D99 **中图分类号**: O175.13; TP202; TP13 **文献标识码**: A

1 引言

关于区间矩阵的稳定性和带有滞后的不确定动力系统的稳定性问题受到了国内外许多学者的重视，得到了许多较好的结果[1-7]．文献[8,9]用矩阵测度和时滞微分不等式研究了多滞后区间时变Lurie直接控制系统的指数稳定性，并给出了该系统指数稳定性的一些判据，但在这些文章中，都没有明确矩阵A的$*$-测度的取值范围($*=1,2$或者∞)．文献[10]用Lyapunov方法研究了单滞后区间Lurie间接控制系统的稳定性，得到了该系统绝对稳定的判别条件．本文进一步用矩阵测度和时滞微分不等式研究了更广一类具有多滞后时变区间Lurie间接控制系统

$$\begin{cases} \dot{x}(t)=N[P,Q]x(t)+\sum\limits_{i=1}^{m}N[P_i(t),Q_i(t)]x(t-\tau_i)+bf\big(\sigma(t)\big), \\ \dot{\sigma}(t)=c^Tx-\rho f(\sigma), \\ x(t)=\phi(t), \quad t\in[-\tau,0], \quad \tau=\max\limits_{i=1,2,\cdots,m}\{\tau_i\}, \end{cases} \tag{1}$$

其中向量函数$x(t)\in R^n$，区间矩阵$N[P,Q]$，$N[P_i(t),Q_i(t)]\subset R^{n\times n}$，$i=1,2,\cdots,m$，$f(\cdot)\in F_{[0,k]}=\{f(\cdot)\,|\,f(\cdot)$ 连续且 $f(0)=0,\ 0<\sigma f(\sigma)\leq k\sigma^2,\ \sigma\neq 0\}$，向量$b,c\in R^n$，常数$\rho>0$，时滞$\tau_i>0$，$i=1,2,\cdots,m$，推导出该系统指数稳定的一些判据，推广和改进了前人的结果，并给出了应用的例子．

2 预备知识

定义1 设α是某个正数，如果存在一个数$k>0$，使得对任意给定的$A\in N[P,Q]$和$A_i(t)\in$

收稿日期: 2008-12-08. **作者简介**: 樊冲(1982年10月生)，男，硕士．研究方向：时滞系统，随机系统的稳定与控制．
***基金项目**: 内蒙古自然科学基金(2010MS0109)；内蒙古师范大学研究生科研创新基金(CXJJS08010)．

$N[P_i(t),Q_i(t)]$ 及 $\phi(t)\in C([-\tau,0],R^n)$，总能使系统

$$\begin{cases} \dot{x}(t)=Ax(t)+\sum\limits_{i=1}^{m}A_i(t)x(t-\tau_i)+bf\big(\sigma(t)\big), \\ \dot{\sigma}(t)=c^Tx-\rho f(\sigma), \\ x(t)=\phi(t), \quad t\in[-\tau,0], \quad \tau=\max\limits_{i=1,2,\cdots,m}\{\tau_i\} \end{cases} \tag{2}$$

的解 $x(t)$ 满足 $\|x(t)\|\le k\mathrm{e}^{-\alpha t}\|\phi\|$, $t>0$，则系统 (1) 是 α 指数稳定的.

引理 1[6] 设 $p(t)$ 是在区间 $[t_0-\tau,+\infty)$ 上的非负连续函数，满足

$$D^+p(t)\le-\alpha p(t)+\sum_{i=1}^{m}b_i(t)\|p_t\|_{\tau_i},$$

这里

$$\|p_t\|_{\tau_i}=\sup_{-\tau_i\le\theta_i\le0}\big\{p(t+\theta_i)\big\}, \quad t\ge t_0, \quad \alpha>0$$

为常数，$b_i(t)$ 连续，又

$$\inf_{t\ge t_0}\Big\{a-\sum_{i=1}^{m}b_i(t)\Big\}>0,$$

则存在正数 $\eta>0$，使得

$$p(t)\le\|p_{t_0}\|_\tau\exp\big(-\eta(t-t_0)\big).$$

定义 2 对任意的 $x=(x_1,x_2,\cdots,x_n)\in R^n$, $A\in R^{n\times n}$，则将

$$\|x\|_\infty=\max_{1\le i\le n}|x_i|, \quad \|x\|_2=\Big(\sum_{i=1}^{n}|x_i|^2\Big)^{\frac12}, \quad \|x\|_1=\sum_{i=1}^{n}|x_i|,$$

分别称为向量 x 的 ∞-范数，2-范数，1-范数.

$$\|A\|_\infty=\max_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}|a_{ij}|, \quad \|A\|_2=\big(\lambda_{\max}(A^TA)\big)^{\frac12}, \quad \|A\|_1=\max_{1\le j\le n}\sum_{j=1}^{n}|a_{ij}|,$$

分别称为矩阵 A 的 ∞-范数，2-范数，1-范数.

定义 3 设 A 是 n 阶矩阵，E 是 n 阶单位矩阵，则

$$\mu_\infty(A)=\lim_{\varepsilon\to0^+}\frac{\|E+\varepsilon A\|_\infty-1}{\varepsilon}, \quad \mu_2(A)=\lim_{\varepsilon\to0^+}\frac{\|E+\varepsilon A\|_2-1}{\varepsilon},$$

$$\mu_1(A)=\lim_{\varepsilon\to0^+}\frac{\|E+\varepsilon A\|_1-1}{\varepsilon},$$

分别称为 A 的 ∞-测度，2-测度，1-测度.

引理 2 设 $A=(a_{ij})_{n\times n}$ 是 n 阶矩阵，则 A 的 ∞-测度，2-测度，1-测度分别为

$$\mu_\infty(A)=\max_{1\le i\le n}\Big(a_{ij}+\sum_{j=1,j\ne i}^{n}|a_{ij}|\Big), \quad \mu_2(A)=\frac12\lambda_{\max}(A+A^T),$$

$$\mu_1(A)=\max_{1\le j\le n}\Big(a_{jj}+\sum_{i=1,i\ne j}^{n}|a_{ij}|\Big),$$

特别地，当 A 是对称矩阵时，$\|A\|_\infty = \|A\|_1$，$\mu_\infty(A) = \mu_1(A)$.

引理 3[7]　设 λ 是 n 阶对称矩阵 A 的任意特征值，则 $|\lambda(A)| \le \mu_2(A)$.

引理 4[11]　A, B 是对称矩阵，若 $A-B$ 是半正定的，则 $\lambda_{\max}(A) \ge \lambda_{\max}(B)$.

假设 $h, h_i \in [0,1]$，$A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t), Q_i(t)]$，$i = 1,2,\cdots,m$，记

$$\bar{A} = hP + (1-h)Q, \quad \triangle A = A - \bar{A} = (\triangle a_{ij})_{n\times n}, \quad M = Q - P = (a_{ij})_{n\times n},$$

$$\bar{A}_i(t) = h_i P_i(t) + (1-h_i)Q_i(t), \quad \triangle A_i(t) = A_i(t) - \bar{A}_i(t) = \left(\triangle a_{jk}^{(i)}(t)\right)_{n\times n},$$

$$M_i(t) = Q_i(t) - P_i(t) = \left(a_{jk}^{(i)}(t)\right)_{n\times n}.$$

(H_1) :　$\mu_*(A) < 0$，且 $|\mu_*(A)| > k\|b\|_*\|c\|_* + k^2\alpha\rho\|b\|_*$；

(H_2) :　$\mu_*(\bar{A}) + \max(1-h,h)\mu_*(M) < 0$, $\mu_*(\bar{A}) + \max(1-h,h)\mu_*(M) > k\|b\|_*\|c\|_* + k^2\alpha\rho\|b\|_*$；

(H_3) :　$\mu_2(\bar{A}) + \frac{1}{2}\max(1-h,h)\mu_2(M+M^T) < 0$, $\mu_2(\bar{A}) + \frac{1}{2}\max(1-h,h)\mu_2(M+M^T) > k\|b\|_*\|c\|_* + k^2\alpha\rho\|b\|_*$.

3　主要结果

定理 1　对任意的 $A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t), Q_i(t)]$，$i = 1,2,\cdots,m$，如果

$$|\sigma| \le \beta(t)\|x(t)\|, \quad \beta(t) \ge 0, \quad \sup_{t\ge t_0}\beta(t) = \alpha,$$

α 是正常数，$|\sigma| \le |\dot{\sigma}(t)|$ 和

$$\sup_{t\ge t_0}\sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)\|_* < -k\|b\|_*\|c\|_* - k^2\alpha\rho\|b\|_* - \mu_*(A),$$

其中 $\|\cdot\|_*$ 表示 $*$ 范数，则系统 (1) 是指数稳定的且与时滞无关.

证明　对任意给定的 $A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t), Q_i(t)]$，$i = 1,2,\cdots,m$，设 $x(t)$ 是系统 (2) 的解，则由 Dini 导数的定义及定理的条件，当 $t \ge 0$ 时，有

$$D^+\|x(t)\|_* - \mu_*(A)\|x(t)\|_* - \sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)\|_*\|x(t-\tau)\|_* - k\|b\|_*\|c\|_*\|x(t)\|_* - k^2\rho\|b\|_*\beta(t)\|x(t)\|_*$$

$$= \lim_{\varepsilon\to 0^+}\frac{1}{\varepsilon}\Big(\|x(t+\varepsilon)\|_* - \|x(t)\|_* - \|E+\varepsilon A\|_*\|x(t)\|_* + \|x(t)\|_*$$

$$-\varepsilon\sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)\|_*\|x(t-\tau_i)\|_* - \varepsilon k\|b\|_*\|c\|_*\|x(t)\|_* - \varepsilon k^2\rho\|b\|_*\beta(t)\|x(t)\|_*\Big)$$

$$\le \lim_{\varepsilon\to 0^+}\frac{1}{\varepsilon}\Big(\|x(t+\varepsilon)\|_* - \|x(t)+\varepsilon Ax(t)\|_* - \varepsilon\sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)x(t-\tau_i)\|_* - \varepsilon k\|b\|_*|c^Tx(t)| - \varepsilon k\rho\|b\|_*|f(\sigma)|\Big)$$

$$\le \lim_{\varepsilon\to 0^+}\frac{1}{\varepsilon}\Big(\|x(t+\varepsilon)\|_* - \|x(t)+\varepsilon Ax(t)\|_* - \varepsilon\sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)x(t-\tau_i)\|_* - \varepsilon k\|b\|_*|c^Tx(t) - \rho f(\sigma)|\Big)$$

$$\le \lim_{\varepsilon\to 0^+}\frac{1}{\varepsilon}\Big(\|x(t+\varepsilon)\|_* - \|x(t)+\varepsilon Ax(t)\|_* - \varepsilon\sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)x(t-\tau_i)\|_* - \varepsilon\|b\|_*|f(\sigma(t))|\Big)$$

$$\le \Big\|\dot{x}(t) - \Big(Ax(t) + \sum_{i=1}^{m}A_i(t)x(t-\tau_i) + bf(\sigma(t))\Big)\Big\|_* = 0.$$

故

$$D^+\|x(t)\|_* \le \left[k\|b\|_*\|c\|_* + k^2\alpha\rho\|b\|_* + \mu_*(A)\right]\|x(t)\|_* + \sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)\|_*\|x(t-\tau_i)\|_*,$$

则由定理条件和引理1知，系统(2)是指数稳定的，从而由定义1知，系统(1)是指数稳定的.

定理2 对任意给定的$A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t),Q_i(t)]$，$i=1,2,\cdots,m$，如果存在$h$, $h_i \in [0,1]$，$i=1,2,\cdots,m$，使得

$$\begin{aligned}&\sup_{t\ge t_0}\sum_{i=1}^{m}\left(\|\bar{A}_i(t)\|_* + \max(1-h_i,h_i)\|M_i(t)\|_*\right)\\ <&\ -k\|b\|_*\|c\|_* - k^2\alpha\rho\|b\|_* - \mu_*(\bar{A}) - \max(1-h,h)\mu_*(M),\end{aligned}$$

则系统(1)是指数稳定的且与时滞无关.

证明 对任意给定的$A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t),Q_i(t)]$，$i=1,2,\cdots,m$，则

$$\mu_*(A) = \mu_*(\bar{A}+\triangle A) \le \mu_*(\bar{A}) + \mu_*(\triangle A),$$

而$-(1-h)M \le \triangle A \le hM$，则$\mu_*(\triangle A) \le \max(1-h,h)\mu_*(M)$，故有$\mu_*(A) \le \mu_*(\bar{A})+\max(1-h,h)\mu_*(M)$. 同理可得

$$\|A_i(t)\|_* \le \|\bar{A}_i(t)\|_* + \max(1-h_i,h_i)\|M_i(t)\|_*,$$

故

$$\begin{aligned}&\sup_{t\ge t_0}\sum_{i=1}^{m}\|A_i(t)\|_* + k\|b\|_*\|c\|_* + k^2\alpha\rho\|b\|_* + \mu_*(A)\\ \le&\ \sup_{t\ge t_0}\sum_{i=1}^{m}\left[\|\bar{A}_i(t)\|_* + \max(1-h_i,h_i)\|M_i(t)\|_*\right] + k\|b\|_*\|c\|_*\\ &+k^2\alpha\rho\|b\|_* + \mu_*(\bar{A}) + \max(1-h,h)\mu_*(M).\end{aligned}$$

由定理条件及定理1知，系统(1)是指数稳定的.

定理3 对任意给定的$A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t),Q_i(t)]$，$i=1,2,\cdots,m$，如果存在$h$, $h_i \in [0,1]$，$i=1,2,\cdots,m$，使得

$$\begin{aligned}&\sup_{t\ge t_0}\sum_{i=1}^{m}\left[\|\bar{A}_i(t)\|_2 + \max(1-h_i,h_i)\sqrt{n\max_{1\le k\le n}\sum_{l=1}^{m}(a_{kl}^{(i)})^2}\,\right]\\ <&\ -k\|b\|_*\|c\|_* - k^2\alpha\rho\|b\|_* - \mu_2(\bar{A}) - \frac{1}{2}\max(1-h,h)\mu_2(M+M^T),\end{aligned}$$

则系统(1)是指数稳定的且与时滞无关.

证明 对任意给定的$A \in N[P,Q]$，$A_i(t) \in N[P_i(t),Q_i(t)]$，$i=1,2,\cdots,m$，由引理2和引理3得

$$\begin{aligned}\mu_2(A) =&\ \mu_2(\bar{A}+\triangle A) \le \mu_2(\bar{A}) + \mu_2(\triangle A) = \mu_2(\bar{A}) + \frac{1}{2}\lambda_{\max}(\triangle A + \triangle A^T)\\ \le&\ \mu_2(\bar{A}) + \frac{1}{2}\mu_2(\triangle A + \triangle A^T) \le \mu_2(\bar{A}) + \frac{1}{2}\max(1-h,h)\mu_2(M+M^T).\end{aligned}$$

由 $\triangle A_i(t) = A_i(t) - \bar{A}_i(t) \le Q_i(t) - \bar{A}_i(t) = h_i M_i(t)$，得

$$\triangle a_{kj}^{(i)}(t) \le h_i a_{kj}^{(i)}(t), \quad k, j = 1, 2, \cdots, n.$$

进一步 $\triangle a_{kj}^{(i)}(t) \le \max(1-h_i, h_i) a_{kj}^{(i)}(t)$，从而对任意的 $y = (y_1, y_2, \cdots, y_n) \in R^n$，有

$$\begin{aligned}
& y^T \big(n \max(1-h_i, h_i)\big)^2 \mathrm{diag}\big(M_i(t), M_i^T(t)\big) y \\
= & \; n\big(\max(1-h_i, h_i)\big)^2 \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \big(a_{jk}^{(i)}(t) y_j\big)^2 \\
= & \; \big(\max(1-h_i, h_i)\big)^2 \sum_{l=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \big(a_{jk}^{(i)}(t) y_j\big)^2 \\
\ge & \; \sum_{l=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} y_l \triangle a_{lk}(t) \triangle a_{jk}(t) y_j = y^T \big(\triangle A_i(t) \triangle A_i^T(t)\big) y.
\end{aligned}$$

所以

$$n\big(\max(1-h_i, h_i)\big)^2 \mathrm{diag}\big(M_i(t), M_i^T(t)\big) - \triangle A_i(t) \triangle A_i^T(t)$$

是半正定矩阵，由引理4知

$$n\big(\max(1-h_i, h_i)\big)^2 \lambda_{\max} \mathrm{diag}\big(M_i(t), M_i^T(t)\big) \ge \lambda_{\max}\big(\triangle A_i(t) \triangle A_i^T(t)\big),$$

故

$$\begin{aligned}
\big\|\triangle A_i(t)\big\|_2 = & \; \lambda_{\max}^{\frac{1}{2}}\big(\triangle A_i(t) \triangle A_i^T(t)\big) \\
\le & \; \max(1-h_i, h_i) \sqrt{n \lambda_{\max}(\mathrm{diag}(M_i(t), M_i^T(t)))} \\
= & \; \max(1-h_i, h_i) \sqrt{n \max_{1 \le k \le n} \sum_{l=1}^{n} (a_{kl}^{(i)})^2}.
\end{aligned}$$

从而

$$\begin{aligned}
& \sup_{t \ge t_0} \sum_{i=1}^{m} \|A_i(t)\|_2 + k\|b\|_* \|c\|_* + k^2 \alpha \rho \|b\|_* + \mu_2(A) \\
\le & \; k\|b\|_* \|c\|_* + k^2 \alpha \rho \|b\|_* + \mu_2(\bar{A}) + \frac{1}{2} \max(1-h, h) \mu_2(M + M^T) \\
& + \sup_{t \ge t_0} \sum_{i=1}^{m} \Big[\|\bar{A}_i(t)\|_2 + \max(1-h_i, h_i) \sqrt{n \max_{1 \le k \le n} \sum_{l=1}^{n} (a_{kl}^{(i)}(t))^2} \, \Big].
\end{aligned}$$

由定理条件和定理1知，系统(1)是指数稳定的.

上述所研究的系统比文献[1-10]所考虑的系统更加一般化. 用文献[10]的方法只能判别Lurie间接控制系统是绝对稳定的. 另一方面，文献[8,9]所研究的是Lurie直接控制系统的指数稳定性. 而本文研究的是具有间接项的Lurie间接控制系统的指数稳定性，因此本文推广和改进了文献[1-10]的结果.

4 应用实例

考虑系统

$$
\begin{cases} \dot{x}(t) = N[P,Q]x(t) + \sum\limits_{i=1}^{2} N\big[P_i(t),Q_i(t)\big]x(t-\tau_i) + bf\big(\sigma(t)\big), \\ \dot{\sigma}(t) = c^T x - \rho f(\sigma), \end{cases} \tag{3}
$$

其中

$$
P = \begin{pmatrix} -6 & -2 \\ -2 & -5 \end{pmatrix}, \quad Q = \begin{pmatrix} -5 & 1 \\ 1 & -4 \end{pmatrix}, \quad P_1(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\sin t - \frac{1}{4} & 0 \end{pmatrix},
$$

$$
Q_1(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\sin t & 0 \end{pmatrix}, \quad P_2(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\cos t - \frac{1}{4} & 0 \end{pmatrix}, \quad Q_2(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\cos t & 0 \end{pmatrix},
$$

$$
b = \begin{pmatrix} -0.2 \\ -0.3 \end{pmatrix}, \quad c = \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.8 \end{pmatrix}, \quad f \in F_{[0,0.5]}, \quad \rho = 0.8, \quad \alpha = 2,
$$

则

$$
\bar{A} = \begin{pmatrix} -\frac{11}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{9}{2} \end{pmatrix}, \quad \bar{A}_1(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\sin t - \frac{1}{8} & 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{A}_2(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}\cos t - \frac{1}{8} & 0 \end{pmatrix},
$$

$$
M = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_1(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & 0 \end{pmatrix}, \quad M_2(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & 0 \end{pmatrix}.
$$

容易计算，它满足定理2和定理3的条件，所以系统(3)是指数稳定的.

注 该系统是Lurie间接控制系统，而文献[8,9]的结果只适用于Lurie直接控制系统.

参考文献:

[1] Liao X X, *et al*. Stability and decay rate of interval delay dynamical systems[J]. Applied Mathematics JCU, 1992, 7(3): 391-402

[2] 刘永清，唐功有. 大型动力系统的理论与应用[M]. 广州：华南理工大学出版社，1992
Liu Y Q, Tang G Y. Theory and Application of Large-scale Dynamic Systems[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1992

[3] Zhang Y P, Sun J T. Decay rate of interval delay dynamical systems[J]. Advances in Modeling and Analysis, 1994, 44(1): 41-44

[4] 孙继涛，刘永清. 单时滞区间动力系统的指数稳定性[J]. 系统工程与电子技术，2000, 22(3): 47-48
Sun J T, Liu Y Q. Exponential stability of interval dynamical systems with single delay[J]. System Engineering and Electronics, 2000, 22(3): 47-48

[5] Sun J T. Stability and decay rate of interval time-varying dynamical systems with multidelay[J]. Chinese Journal of Automation, 1996, 8(3): 243-247

[6] 孙继涛等. 多滞后区间动力系统的指数稳定性[J]. 应用数学和力学，2002, 23(1): 87-91
Sun J T, *et al*. Exponential stability of interval dynamical systems with multidelay[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2002, 23(1): 87-91

[7] 孙继涛等. 单滞后时变区间动力系统的指数稳定性[J]. 控制理论与应用，2001, 18(2): 260-262
Sun J T, *et al.* Exponential stability of time-varying interval dynamical systems with single delay[J]. 2001, 18(2): 260-262
[8] 宋乾坤. 具有多滞后时变区间Lurie控制系统的指数稳定性判据[J]. 重庆师范学院学报，2003, 20(1): 8-12
Song Q K. Criterion for exponential stability of time varying interval Lurie control systems[J]. Chongqing Normal University Xuebao, 2003, 20(1): 8-12
[9] 宋乾坤. 多滞后时变区间Lurie控制系统的指数稳定性[J]. 工程数学学报，2004, 21(5): 748-752
Song Q K. Exponential stability of time varying interval Lurie control systems with multidelay[J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2004, 21(5): 748-752
[10] 孙继涛等. 具滞后的区间Lurie控制系统的绝对鲁棒稳定性[J]. 系统工程与电子技术，2001, 23(3): 47-50
Sun J T, *et al.* Robust absolute stability of interval Lurie control systems with delay[J]. System Engineering and Electronics, 2001, 23(3): 47-50
[11] 倪国熙. 常用矩阵论和方法[M]. 上海：上海科技出版社，1982
Ni G X. Applied Matrix Theory and Method[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1982

Exponential Stability Criteria for Time Varying Interval Lurie Indirect Control Systems with Multi-time Delays

FAN Chong,　BAO Jun-dong

(College of Mathematical Science, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022)

Abstract: In this paper, the problem of exponential stability of time varying interval Lurie indirect control systems with multi-time delays is concerned. Through introducing the conception of exponential stability for time varying interval Lurie indirect control systems and employing matrix measurement and inequalities with time delay, the exponential stability of time varying interval Lurie indirect control systems with multi-time delays is studied. Some sufficient conditions for the exponential stability of the systems are obtained. In the end, a numerical example is given to illustrate the efficiency of the propose results.

Keywords: Lurie indirect control systems; matrix measure; delay differential inequality; exponential stability

Received: 08 Dec 2008.　**Accepted:** 26 May 2010.
Foundation item: The Natural Science Foundation of Inner Mongolia (2010MS0109); the Innovation Foundation of Inner Mongolia Normal University of Postgraduate (CXJJS08010).